Messung von Abklingzeiten an Quecksilberkanalstrahlen

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt am 9. Dez. 1935 von

Hermann von Kaler zu Lanzenheim

aus Schwandorf

1937

Druckerei u. Verlag wissenschaftlicher Werke Konrad Triltsch, Würzburg

Referent: Prof. Dr. F. Harms.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549802_0240

Inhalt.

Seite

1. Aufgabestellung 1
2. Herstellung und Aufnahme des Quecksilberkanalstrahls . . 2
3. Auswertung der Aufnahmen 6
4. Ergebnisse der Messungen 9

1. Aufgabestellung.

W. Klingner hat in seiner Dissertation [1]) an Zinkkanalstrahlen Abklingzeiten bzw. Lebensdauern gemessen, die für Singulett- und Triplettlinien charackteristische Unterschiede ergaben. Es sollten entsprechende Messungen an Quecksilberkanalstrahlen durchgeführt werden.

W. Wien [2]) hat die Hg-Linien 4 358, 3 650, 3 126 und 2 536 untersucht. Für die drei ersten (sämtlich Triplettlinien) fand er etwa gleiche Lebensdauern, für die letzte etwa die 5fache. In der nachstehenden Arbeit sind weitere Hg-Linien untersucht, nämlich außer der von Wien untersuchten 4 358 noch die Linien 6 234, 5 790/69, 5 461, 4 077.

Andere Messungen liegen vor von Randall [3]) (an 5 461, 4 358, 4 047), Richter [4]) (ebenfalls an 5 461, 4 358, 4 047) und Garrett [5]) (an den Resonanzlinien 1 850, 2 537).

---

[1]) W. Klingner, Dissertation Würzburg 1933.
[2]) W. Wien, Annalen der Physik. 4. Folge, **73** 490 (1924).
[3]) R. H. Randall, Phys. Rev. **35** 1161 (1930).
[4]) E. F. Richter, Annalen der Physik **7** 293 (1930).
[5]) P. H. Garrett, Phys. Rev. **40** 779 (1932).

2. Herstellung und Aufnahme des Quecksilberkanalstrahls.

Zunächst mußte ein möglichst lichtstarker Quecksilberkanalstrahl hergestellt werden. Die Kathode war nach dem Vorbild der Wienschen [1]) gebaut. Der Kanal hatte einen Durchmesser von 4 mm. Die obere Stirnfläche der Kathode trug eine Aluminiumscheibe. Das untere Ende des Kanals war durch einen Schliffspalt verschlossen, der eine feine Lamelle aus dem Kanalstrahl ausblendete, und das nötige Druckgefälle zwischen Entladungsraum und Beobachtungsraum zu erhalten gestattete. Der Spalt war 4 mm lang und 0,2 mm breit, und war aus zwei Rasierklingen hergestellt. Durch ein Fenster konnte der ganze Schliffspalt herausgenommen und gesäubert werden, ohne die Einstellung des Spektrographen zu verderben. In der oberen Hälfte des Kanals führte ein seitlich einmündendes Rohr nach Bedarf Wasserstoff zu. Oben trug die Kathode einen Messingteller, auf den das Entladungsrohr aufgeschliffen und aufgekittet wurde. Dieses war ein einfaches Glasrohr, das oben in ein kleines U-Rohr auslief, mit dem Quecksilbertropfen. Das U-Rohr ragte in ein elektrisch geheiztes Ölbad. Der Zweck dieser Heizung war, den Hg-Druck so weit zu erhöhen, daß eine dauernde Entladung möglichst ohne Zufuhr eines Fremdgases zu erhalten war. Um ein Kondensieren des Quecksilberdampfes im Entladungsraum zu vermeiden, hielt ich, anstatt der sonst üblichen Wasserkühlung, durch eine kleine Warmwasseranlage die Kathode dauernd auf 60° C. Das Ölbad, in dem der Quecksilbertropfen hing, wurde auf 40° C erhitzt. Es gelang auch ohne Wasserstoffzufuhr eine dauernde Entladung aufrecht zu erhalten bei einem Spalt von 0,15 mm Breite. Eine Spaltbreite von 0,20 mm erforderte eine schwache Wasserstoffzufuhr. Diese ließ sich durch Einstellung des Druckes im Vorratsgefäß bequem regeln, aus dem der Wasserstoff durch eine lange Kapillare zugeführt wurde.

Die Anode war eine Tantalblechscheibe, die gehalten wurde durch eine seitliche Einschmelzung am Entladungsrohr. Der Beob-

[1]) W. Wien, a. a. O. **60** 597 (1919).

achtungsraum hatte gegen den Spektrographen zu und ihm gegenüber je ein 5 cm langes schmales Fenster, geeignet zum Durchvisieren beim Einstellen des Spektrographen, außerdem seitlich das breite Fenster zum Auswechseln des Schliffspaltes. Diesem seitlichen Fenster gegenüber mündete die Leitung von Mac-Lood her in den Beobachtungsraum ein. Mit dem Mac-Lood prüfte ich das Vakuum in bezug auf die den Quecksilberkanalstrahl begleitenden Gase. Der Quecksilberdampfdruck wurde durch die in flüssige Luft getauchte Kühlfalle genügend klein gehalten. Gutes Vakuum wurde im Beobachtungsraum durch zwei 2stufige Stahldiffusionspumpen aufrecht erhalten. Besonders mußte darauf geachtet werden, daß nur getrocknete Luft ins Innere der Anlage kam, da jede Spur von Feuchtigkeit sofort Oxydbildung auf der Aluminiumscheibe der Kathode verursachte. Das Mac-Lood mußte metallisch anschlagen; das entsprach einem Druck von weniger als 0,001 mm im Beobachtungsraum. Die Heizung der Kathode erzwang die Verwendung eines hochschmelzenden Spezialkittes von Leybold.

Als Spannungsanlage diente ein großer Röntgen-Induktor mit rotierendem Quecksilberunterbrecher und Glühventil. Die Stromstärke der Entladung betrug 0,5 mA bei 40 kV und 0,7 mA bei 35 kV. Die Anode kam dabei auf eine Temperatur dicht unter der der beginnenden Rotglut. Die Spannung wurde gemessen und kontrolliert durch eine Kugelfunkenstrecke.

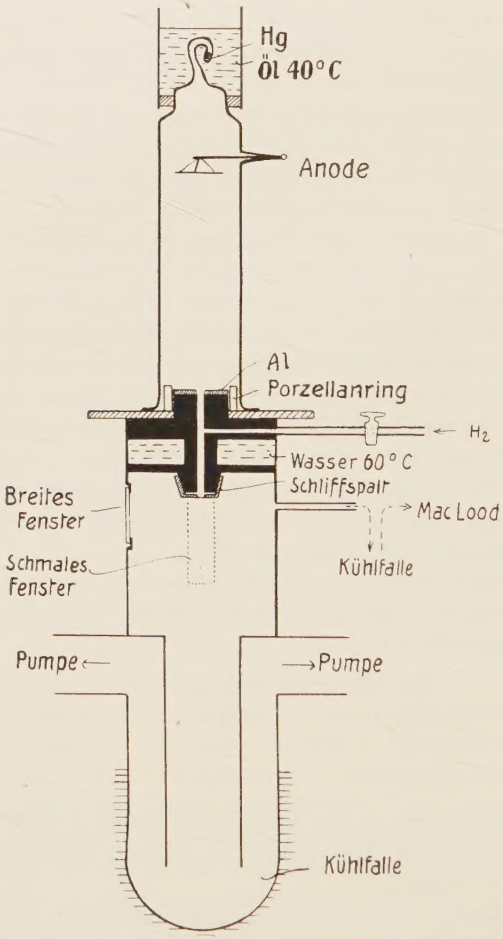
Für die Aufnahmen verwendete ich einen spaltlosen Glasspektrographen von der Öffnung 1 : 3 mit einem Rutherfordprisma. Die Dispersion betrug bei:

5 790 AE	etwa 220 AE/mm
5 461	180
4 358	90
4 047	50

Photographiert wurde auf Agfa-Extrarapid-, Agfa-Isochrom- und Agfa-Superpanplatten. Die Belichtungszeiten betrugen meist 6, in einem Falle 14 Stunden.

Die Einstellung des Spektrographen geschah in folgender Weise. Erst wurde an die Stelle des Kanalstrahls durch das breite, seitliche Fenster ein kleiner Hilfsspalt eingesetzt. Auf diesem Spalt wurde durch das rückwärtige Fenster des Beobachtungsraumes hindurch das reelle Bild einer Quecksilberlampe erzeugt und der Spektrograph so vor das vordere Fenster aufgestellt, daß auf der Mattscheibe das Hg-Spektrum mit scharfen Linien erschien. Da aber nur ein Teil

des sichtbaren Hg-Spektrums mit voller Ausleuchtung erschien, die seitlichen Gebiete aber teilweise ausgeblendet wurden, mußte noch durch Schwenken des Spektrographenarmes, der die Kassette trug, dieses lichtstärkste Gebiet an die für die jeweilige Aufnahme wich-



tigste Stelle des Spektrums gebracht werden. Das geschah am sichersten durch Umkehrung des Strahlenganges. Die Hg-Lampe wurde vor die Mattscheibe gestellt, die mit schwarzem Papier so beklebt war, daß nur in der Mitte ein schmaler, senkrechter Spalt frei blieb. Dann erschien das Hg-Spektrum auf der Ebene des

Hilfsspaltes im Beobachtungsraum. Beim Schwenken des Spektrographenarmes zogen die einzelnen Linien nacheinander am Spalt vorbei; gleichzeitig stand der Spektrograph für die jeweilige Linie in der günstigsten Stellung. Auch wenn dann kurz vor Beginn der Aufnahme der Kanalstrahl die Stelle des Hilfsspaltes einnahm, ließ sich durch Parallaxenbeobachtungen noch kontrollieren, ob das reelle Spaltbild der gewünschten Hg-Linie und der Kanalstrahl an derselben Stelle des Raumes erschienen.

Bei der Aufnahme entstand die Abbildung des Kanalstrahls im Maßstab 1,07 : 1 und erlaubte eine Ausmessung am Photometer bis zu 14 mm Kanalstrahllänge. Um ein noch längeres Stück des Kanalstrahls der Ausmessung zugänglich zu machen, stellte ich noch Farbfilteraufnahmen mit einer einfachen Kamera her. Das gab Bilder der blauen und der grünen Hg-Linie im Maßstab 1 : 4,11 und erlaubte eine Ausmessung der blauen Linie bis zu 29 mm Kanalstrahllänge. An dieser Aufnahme ist die Überlagerung der blauen Quecksilberlinie mit der viel schwächeren aber langsamer abklingenden Wasserstofflinie $H\gamma$ 4 341 gut zu erkennen.

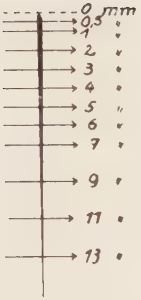
3. Auswertung der Aufnahmen.

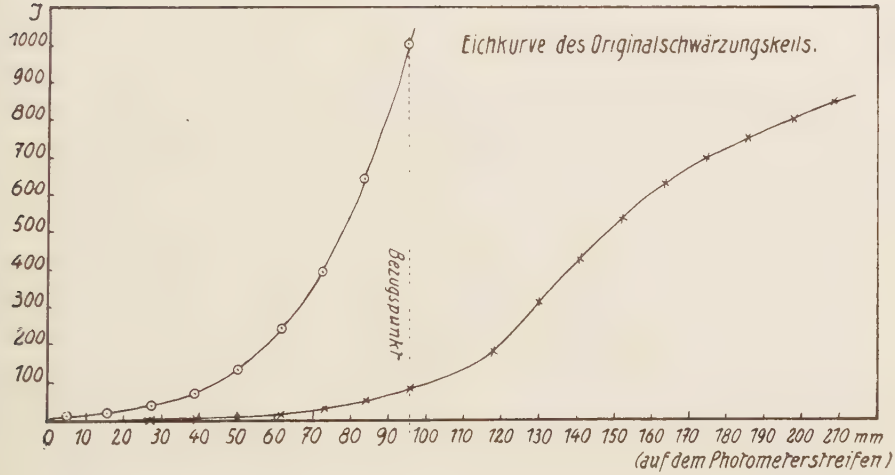
In die Kurven für die einzelnen Hg-Linien sind die Logarithmen der in einer willkürlichen Einheit gemessenen Lichtintensität des Kanalstrahls aufgetragen gegen den in mm gemessenen Abstand vom Austrittsspalt. Von den Aufnahmen zu diesen Kurven führten folgende Schritte.

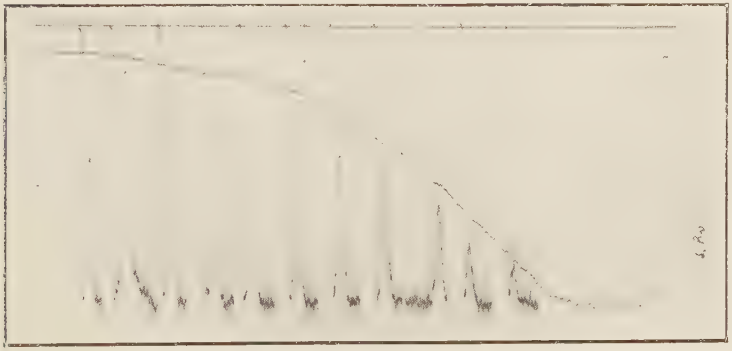
a) Mit dem rotierenden Sektor stellte ich auf einer Diapositivplatte einen Originalschwärzungskeil her und eichte diesen auf dem Mollschen Registrierphotometer nach durchgelassener Lichtintensität, ausgedrückt in $^0/_{00}$ der an einer nicht geschwärzten Stelle durchgelassenen Intensität. Um den ganzen Bereich zu erfassen, mußte ich zwei verschiedene Empfindlichkeiten des Photometers benützen für die beiden Hälften des Schwärzungskeils. Der Zusammenhang wurde gewahrt durch einen bei beiden Einstellungen gut ausmeßbaren Vergleichspunkt. Vorsichtshalber stellte ich die Unabhängigkeit der Photometerkurve von der Farbe des zum Photometrieren verwendeten Lichtes mit Hilfe von Farbfiltern fest: es mußte nur jedesmal der gleiche Maximalausschlag des Galvanometers eingestellt werden.

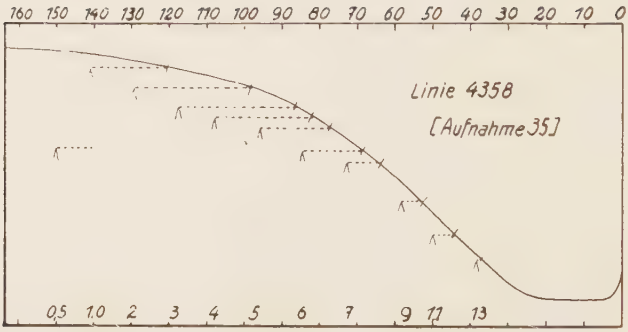
b) Vom Originalkeil machte ich bei Expositionszeiten, die denen der Kanalstrahlaufnahmen entsprachen, Kontaktkopien mit der Quecksilberlampe und den einzelnen Farbfiltern auf die gleiche Plattensorte, die zur Kanalstrahlaufnahme der auszumessenden Linie gedient hatte. Auf diese Weise bekam ich zu jeder Linie der Kanalstrahlaufnahmen einen zugehörigen Schwärzungskeil.

c) Es handelte sich nun darum, von Punkt zu Punkt des Kanalstrahlbildes die Stelle gleicher Schwärzung auf dem zugehörigen Keil festzustellen. Die Kanalstrahlaufnahme photometrierte ich in aufeinanderfolgenden, mit dem Nonius eingestellten Höhen quer durch und markierte die Gipfelhöhen auf der Kennlinie des zugehörigen Schwärzungskeils. Die Maxima geben also die Galvanometerausschläge in der Achse des Kanalstrahlbildes, die kontinuierliche Photometerkurve stammt von dem zugehörigen Schwärzungs-


0 mm
0,5
1
2
3
4
5
6
7
9
11
13


J
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
Eichkurve des Originalschwärzungskeils.
Bezugspunkt
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 270 mm
(auf dem Photometerstreifen)





keil. Beides zusammen wurde auf denselben Bildstreifen aufgenommen. Um den Plattenschleier auszuschalten, empfahl es sich, jedesmal durch den Schleier der Kanalstrahlplatte und den der Keilplatte gleichzeitig durchzuphotometrieren.

d) Zu jeder markierten Stelle der Keilkennlinie ließ sich dann die zugehörige Stelle des Originalkeils feststellen. Aus dessen Eichkurve konnte dann die Lichtintensität abgelesen werden, die bei der Kontaktkopie dieselbe Schwärzung verursachte wie die entsprechende Stelle des Kanalstrahls. So hatte ich jetzt ein Maß für die Lichtintensität des Kanalstrahles an den einzelnen Punkten in Bezug auf die bestimmte Wellenlänge, ohne daß ich das Schwarzschildsche Gesetz berücksichtigen mußte.

Als Farbfilter hatte ich Hg-Monochromatfilter der Firma Zeiß.

4. Ergebnisse der Messungen.

Nach W. Wien[1]) soll die Intensität J_x des Kanalstrahls im Abstand x cm vom Spalt bestimmt sein durch die Gleichung:

$$J_x = J_0 \cdot e^{-\frac{2\alpha x}{v}}$$

Die Geschwindigkeit v wurde berechnet aus der Spannung V, der Elementarladung ε und dem Atomgewicht m des Quecksilbers nach der Gleichung:

$$\frac{m v^2}{2} = \varepsilon \cdot V.$$

Es ergibt sich für

V = 35 kV	v = $1{,}82 \cdot 10^7$ cm/sec
40 „	$1{,}95 \cdot 10^7$ „
45 „	$2{,}06 \cdot 10^7$ „ .

Dabei ist angenommen, daß die volle Spannung für die Beschleunigung wirksam wird, was W. Wien[2]) für Quecksilber auf Grund von Doppler-Aufnahmen als annähernd richtig festgestellt hat. Auch bei gewissen Abweichungen von dieser Annahme würden nur die absoluten Werte, nicht die relativen Werte für die Lebensdauer dadurch geändert werden.

2α ist die für die einzelnen Linien charakteristische Abklingkonstante. $\tau = \frac{1}{2\alpha}$ ist die mittlere Lebensdauer des Anregungszustandes, von dem der zur Linie gehörige Elektronenübergang ausgeht, oder die Abklingzeit. — Der Neigungswinkel der Kurven sei φ, dann ist:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{d \log J}{dx}$$

$$2{,}30 \cdot \operatorname{tg}\varphi = \frac{d \ln J}{dx} = -\frac{2\alpha}{v}$$

$$2\alpha = -2{,}30 \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot v.$$

[1]) W. Wien, a. a. O. **60** 597 (1919).
[2]) W. Wien, a. a. O. **73** 483 ff. (1924).

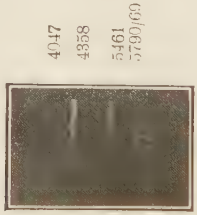
Die folgende Tabelle zeigt die von mir gefundenen Werte. Die mit einfachen Nummern bezeichneten Aufnahmen sind Spektralaufnahmen; die Farbfilteraufnahmen sind durch F gekennzeichnet. Es bedeutet

E Agfa-Extrarapid
J Agfa-Isochrom
S Agfa-Superpan.

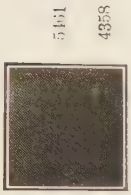
Durch gemeinsame ausmeßbare Linien ist der Zusammenhang zwischen den Aufnahmen auf verschiedenen Plattensorten gewahrt.

4 358 ist ausmeßbar auf den Aufnahmen J und S
5 461 „ „ „ „ „ J „ E
Die Aufnahmen S bringen dazu 6 234
„ „ J „ „ 5 790/69
„ „ E „ „ 4 047 und 4 077.

Linie	Aufnahme	Plattensorte	kV	$2\alpha \cdot 10^{-7}$	Mittelwert	$\tau \cdot 10^8$ sec
5 461	F	J	45	4,8	4,9	2.0
	28	J	40	5,1		
	20	E	45	4,8		
4 358	F	J	45	4,8	5,3	1,9
	28	J	40	5,6		
	35	J	40	5,5		
	32	S	45	5,4		
4 047	36	E	35	5,3	5,3	1,9
	20	E	45	5,3		
6 234	34	S	40	2,9	2.9	3,4
	32	S	45	2,8		
	30	S	35	3,1		
5 790/69	28	J	40	5,8	5,8	1.7
4 077	20	E	45	2,9	2.9	3,5

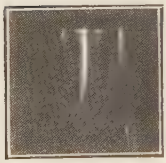


Aufnahme Nr. 28 (J)



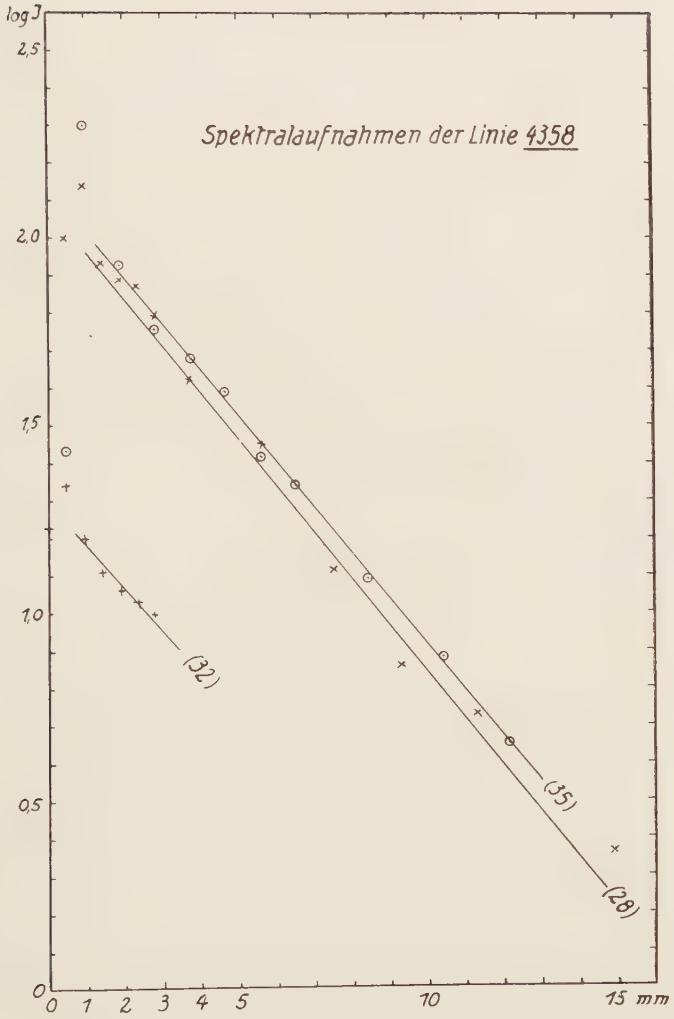
Farbfilteraufnahmen (J)

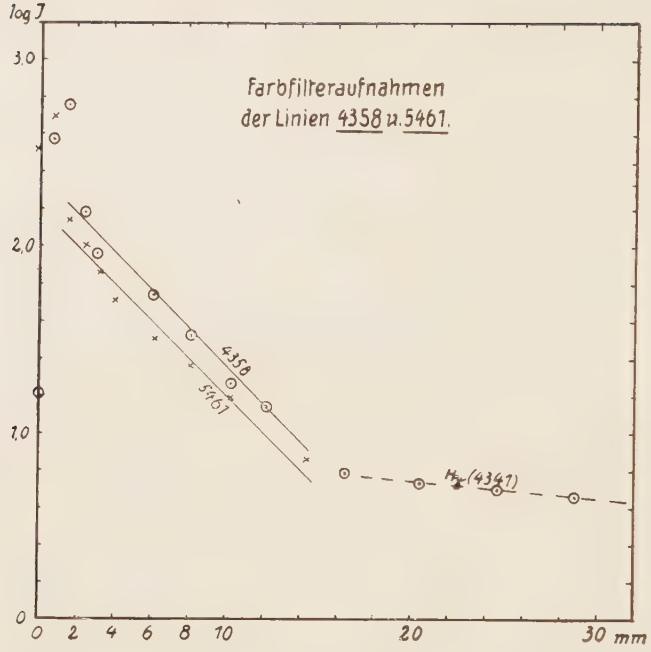
Aufnahme Nr. 32 (S)

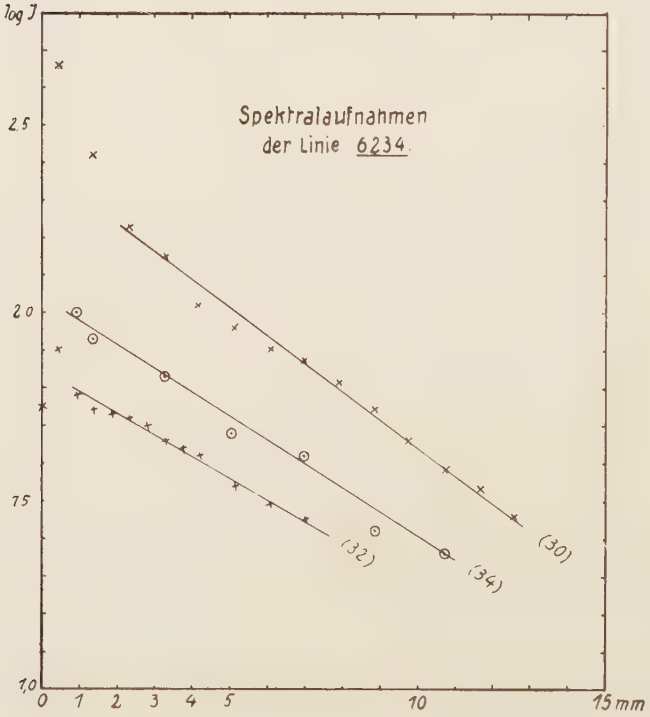


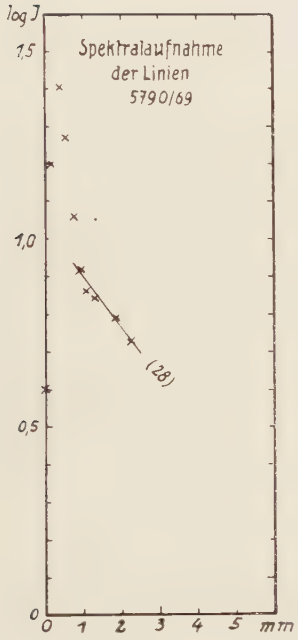
Aufnahme Nr. 20 (E)

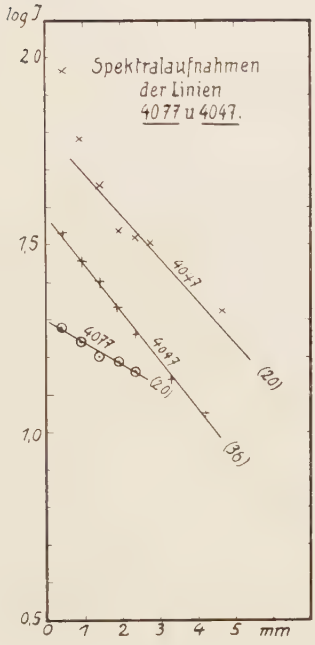
log J
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
Spektralaufnahmen der Linie 5461
0
1
2
3
4
5
10
15 mm
120°
28

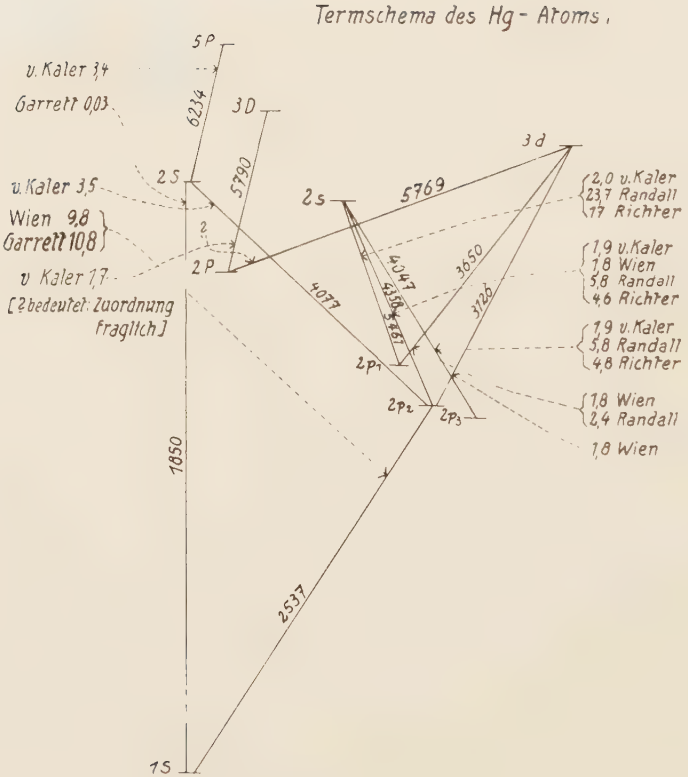

log J
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
Spektralaufnahmen der Linie 4358
(32)
(35)
(28)
0 1 2 3 4 5 10 15 mm


log J
3,0
2,0
1,0
0
Farbfilteraufnahmen
der Linien 4358 u. 5461.
4358
5461
Hγ (4347)
0 2 4 6 8 10 20 30 mm


log J
2,5
2,0
1,5
1,0
Spektralaufnahmen
der Linie 6234.
(30)
(32)
(34)
0 1 2 3 4 5 10 15 mm


log J
1,5
1,0
0,5
0
Spektralaufnahme
der Linien
5790/69
(28)
0 1 2 3 4 5 mm


log J
2,0
1,5
1,0
0,5
Spektralaufnahmen
der Linien
4077 u 4047.
4077
4047
(20)
4077
4047
(20)
(36)
0 1 2 3 4 5 mm


Termschema des Hg - Atoms.
5P
3D
2S
2P
1S
3d
2s
$2p_1$
$2p_2$
$2p_3$
6234
5790
5769
4077
4047
3650
3126
2537
1850
v. Kaler 3,4
Garrett 0,03
v. Kaler 3,5
Wien 9,8
Garrett 10,8
v Kaler 1,7
[2 bedeutet: Zuordnung fraglich]
2,0 v. Kaler
23,7 Randall
77 Richter
1,9 v. Kaler
1,8 Wien
5,8 Randall
4,6 Richter
1,9 v. Kaler
5,8 Randall
4,8 Richter
1,8 Wien
2,4 Randall
1,8 Wien

Somit liegen Messungen an folgenden Hg-Linien vor:

	Abklingkonstante	Abklingzeit (sec.)	
1. Triplettlinien:			
5461	$4{,}90 \cdot 10^{7}$	$2{,}0 \cdot 10^{-8}$	v. Kaler
	—	23,7	Randall
	—	17	Richter
4358	5,32	1,9	v. Kaler
	5,5	1,8	Wien
	—	5,8	Randall
	—	4,6	Richter
4047	5,30	1,9	v. Kaler
	—	5,8	Randall
	—	4,8	Richter
3650	5,5	1,8	Wien
	—	2,4	Randall
3126	5,5	1,8	Wien
2. Singulettlinien:			
6234	2,93	3,4	v. Kaler
1850	—	0,05	Garrett
3. Interkombinationslinien:			
4077	2,9	3,5	v. Kaler
2537	1,02	9,8	Wien
	—	10,8	Garrett
5790/69 *)	5,8	1,7	v. Kaler

*) Die Singulettlinie 5790 und die Interkombinationslinie 5769 sind nicht getrennt. Die Konstante ist außerdem mit wesentlich größerer Unsicherheit behaftet als bei den übrigen Linien, weil die geringe photographische Intensität in diesem Spektralbereich nur eine Ausmessung des Kanalstrahls auf die Länge von 3 mm gestattete.

Wie man sieht, sind die mit der Wienschen Methode gemessenen Zahlenwerte für die Triplettlinien im Wesentlichen einander gleich. (Warum die auf anderen Wegen gefundenen Werte von Randall und Richter für die Abklingzeiten der vom gleichen Niveau ausgehenden Triplettlinien 5461, 4358, 4047 bedeutend größer sind — besonders für 5461 — ist nicht aufgeklärt.)

Die Abklingzeit der einzigen ausmeßbaren Singulettlinie 6234 ergab sich fast doppelt so groß wie die der Triplettlinien.

Die Interkombinationslinien gaben ebenfalls abweichende Werte.

Über die gelben Linien ist noch folgendes zu bemerken. Hier liegen aufeinander die Singulettlinie 5 790,7 (3 D—2 P) und die nahezu gleich intensive Interkombinationslinie 5 769,6 ($3\,d_2$—2 P). Die Interkombinationslinie 5 789,7 ($3\,d_3$—2 P) tritt gegen die beiden starken Linien völlig zurück. Ich sah diese dritte Linie als sehr lichtschwachen Trabanten der Linie 5 790,7 auf Gitteraufnahmen des Hg-Spektrums, die Wiedmann in Dresden mit sehr großer Dispersion gemacht hat. Auch die beiden starken gelben Linien ließen sich bei der Kanalstrahlaufnahme nicht trennen. Ihr Abstand würde bei der gegebenen Dispersion etwa 0,1 mm auf der Aufnahme, entsprechend 0,27 mm auf dem Photometerstreifen betragen. Infolgedessen läßt sich nichts Sicheres über die einzelnen Linien aussagen. Das Bild der beiden Linien sieht aus wie das einer Linie mit der Abklingzeit $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ sec.

Da es für die violetten Linien kein Farbfilter gibt, benützte ich für diese den zur blauen Linie gehörigen Schwärzungskeil zum Photometrieren.

5 790/69 und 4 077 sind so lichtschwach, daß eine empfindlichere Photometereinstellung nötig war als bei den anderen Linien. 4 077 kam erst nach 14stündiger Belichtungszeit in photometrierbarer Stärke.

Vorstehende Arbeit wurde in der Zeit von Oktober 1932 bis Juli 1934 im Physikalischen Institut der Universität Würzburg ausgeführt.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Friedrich Harms, möchte ich auch an dieser Stelle für seine liebenswürdige Förderung meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Ebenso bin ich auch Herrn Professor Dr. Wiedmann, Dresden, für seine freundliche Hilfe zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Ich, Hermann von Kaler zu Lanzenheim, wurde am 9. II. 1905 in Schwandorf geboren, besuchte Volksschule und Gymnasium in Würzburg und studierte Mathematik und Physik in Würzburg und Göttingen. 1928/29 bestand ich die zwei Abschnitte des Staatsexamens für das höhere Lehramt. 1929 bis 1931 war ich Studienassessor an der Realschule Marktbreit. 1931 bis 1934 arbeitete ich am physikalischen Institut Würzburg. Seit 1934 bin ich Physiker im Röntgenwerk der Koch & Sterzel A.G. in Dresden.